Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 2, Summer 2023, p. 523-540

Investigation the Different Levels of Drought Stress on Almond Cultivars

E. Safavi[1], M. Yadegari[2,3*], S.A. Mousavi[3, 4], B. Haghighati[3, 5]

Received: 06-07-2022
Revised: 05-10-2022
Accepted: 22-10-2022
Available Online: 22-10-2022

How to cite this article:
Safavi, E., Yadegari, M., Mousavi, S.A., & Haghighati, B. (2023). Investigation the different levels of drought stress on almond cultivars. *Journal of Horticultural Science, 37*(2), 523-540. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2022.77478.1184

Introduction

Water shortage is very frequent in many countries, and, together with the rising demand for industry, growth of human population, climate change and specifically the trend towards irrigated agriculture, has led to widespread problems of water scarcity, especially in Middle East countries. This situation imposes the need to optimize water use in all human activities. Among the different productive uses of water, agriculture is by far the main water user in most water scarce regions and, consequently, any potential improvement in the use of the available water resources may play a significant role toward achieving a more sustainable use of water. Plant responses to water deprivation are usually monitored through selected morphological and physiological parameters which have been proven to be good indicators of drought in different studies. Some of the most important standards for evaluating plant genotypes under drought stress are measurements of morphological parameters such as height, leaf characters and root growth.

Materials and Methods

To compare the growth response of different almond cultivars to different levels of water stress, an experiment was conducted as a split plot in the base of randomized complete block design with three replications in the Agricultural and Natural Resources Research Center of Chaharmahal and Bakhtiari Province in two growing season 2019-2020 and 2020-2021. Different irrigation periods based on the percentage of usable soil moisture between filed capacity to wilting point, including 70% filed capacity (control or no stress), 50% filed capacity (mild stress), 30% filed capacity (medium stress) and 10% of field capacity (severe stress) were considered as the main factor of the experiment. The sub-factor included 14 commercial cultivars of almonds (Mamaei, Rabi, Saba, Araz, Eskandar, Aidin, Shahrood 6, 7, 8, 10, 12, 13 and 21 and GN vegetative rootstock), all of which were grafted on GN rootstock. In this study, uniformly grafted seedlings in terms of age, stem diameter and height were selected and planted. In the second year after planting the seedlings, in order to apply drought stress, tubes for hygrometer (TDR) were installed in each experimental plot and based on soil moisture content, irrigation cycle was determined for different treatments.

1 and 3- Ph.D. Student and Associate Professor, Department of Agronomy and Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran, respectively.
2- Associate Professor, Medicinal, Spicy and Aromatic Plants Research Center, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran
(*- Corresponding Author Email: mehrabyadegari@gmail.com)
4- Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension organization (AREEO), Shahrekord, Iran
5- Assistant Professor of Soil and Water Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrekord, Iran
DOI: 10.22067/jhs.2022.77478.1184

Results and Discussion

In both years, three months after applied water stress growth traits and nutrient concentrations in the leaves of treated seedlings were measured. Based on the results of analysis of variance, the morphological traits of almond seedlings were significantly affected by cultivar type and drought stress level. In all almond cultivars, the highest height was belonged to seedlings that were grown in non-stress conditions and with increasing the drought stress intensity, the height of almond seedlings was decreased. Under severe drought stress, GN and Mamaei cultivars had the highest (183.93 cm) and the lowest (94.60 cm) height, respectively. Seedling height in GN, Shahrood 12, Saba and Shahrood 10 cultivars showed the lowest decrement under severe drought stress. In all cultivars, drought stress caused a significant reduction in the length and width of the seedlings crown, and the greatest decreasing was recorded in severe drought stress (10% FC). Under severe drought stress, cultivar GN had the largest crown and cultivars Rabi, Shahrood 7 and Eskandar had the smallest crown. Increasing the drought stress intensity significantly reduced the branches growth of seeding in terms of number and length of sub-branches. As the intensity of drought stress increased, the length of sub-branches decreased however the number of intermediates in sub-branches increased. In non-stressed condition, the cultivar GN had the longest branch (55.95 cm), which was significantly higher than the other studied almond cultivars. The shortest branches were also observed in Saba (29.94 cm) and Eskandar (29.47 cm) cultivars. Increasing drought stress caused a significant reduction of leaf area in all studied cultivars and the highest decreasing was observed under severe drought stress. The GN (37.76 cm^2) and Shahrood 10 (31.81 cm^2) had the highest leaf area in non-stress and drought stress conditions. Under severe drought stress (10% FC) cultivar Shahrood 6 showed the lowest leaf area. The results of this study showed that increasing the intensity of dehydration significantly reduced the amount of nitrogen, phosphorus, manganese and zinc in the leaves of the studied cultivars of almonds, however, the amount of potassium and iron in stressed plants increased under drought stress. Based on the results of the present study, under severe drought stress the GN, Shahrood 8 and Shahrood 12 cultivars in terms of growth indices including seedling height, stem diameter, canopy growth, branch growth and concentration of macro and micro elements was superior compared with the other studied cultivars.

Conclusion

Based on the results of this study, drought stress significantly reduced growth indices and nutrient concentrations, although the reaction of almond cultivars to different levels of drought stress was different. In this study, among the studied almond cultivars GN, Shahrood 8 and Shahrood 12 cultivars in terms of growth characters including seedling height, stem diameter, canopy growth, branch growth and concentration of macro and micro elements showed higher tolerance to different level of drought stress. These cultivars less affected by the high intensities of dehydration. Therefore, GN, Shahrood 8 and Shahrood 12 cultivars can be used in future studies to evaluate the possibility of cultivating these cultivars in areas with water deficit.

Keywords: GN rootstock, Irrigation, Tolerance, Vegetative traits

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۲، ص. ٥٤۰-٥۲۳

بررسی اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر ارقام بادام

اسماعیل صفوی[۱]- مهراب یادگاری[۲و۳*]- سید اصغر موسوی[۳و۴]- بیژن حقیقتی[۳و۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰

چکیده

جهت مقایسه واکنش رشدی ارقام مختلف بادام به سطوح مختلف تنش خشکی، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهار محال و بختیاری در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰ اجرا گردید. دوره‌های مختلف آبیاری بر اساس درصد رطوبت قابل استفاده خاک بین ظرفیت زراعی تا نقطه پژمردگی شامل ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (شاهد یا بدون تنش)، ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (تنش ملایم)، ۳۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (تنش متوسط) و ۱۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (تنش شدید) به عنوان فاکتور اصلی آزمایش در نظرگرفته شد. فاکتور فرعی شامل ۱۴ رقم تجاری بادام (’مامایی‘، ’ربیع‘،’صبا‘،’آراز‘،’اسکندر‘،’آیدین‘،’شاهرود ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۳ و ۲۱ ‘و ’پایه رویشی GN‘) بود که همگی بر روی ’پایه رویشی GN‘ پیوند زده شده بودند. در هر دو سال مورد مطالعه، سه ماه پس از اعمال تنش صفات رشدی و غلظت عناصر غذایی در برگ نهال‌های تحت تیمار اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، صفات مورفولوژیکی نهال‌های بادام در هر دو سال مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع رقم، سطح تنش خشکی و اثرات متقابل آن‌ها قرار گرفتند. افزایش شدت تنش خشکی همراه با کاهش معنی‌دار ارتفاع، رشد تاج، تعداد و طول شاخه‌های جانبی و سطح برگ ارقام مختلف بوده است. در همه ارقام، تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار طول و عرض تاج نهال‌ها گردید و تحت تنش شدید خشکی، رقم ’GN‘ بزرگترین تاج و رقم ’ربیع‘ کوچکترین تاج را داشتند. بیشترین طول شاخه در شرایط تنش خشکی در رقم ’GN‘ ثبت گردید و کمترین طول شاخه در رقم ’مامایی‘، مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با ارقام ’شاهرود ۱۳‘،’ربیع‘،’صبا ‘،’شاهرود ۷‘،’شاهرود ۶‘ و ’اسکندر‘ نداشتند. در شرایط بدون تنش و همچنین سطوح مختلف تنش خشکی، ارقام ’GN‘ (۳۷/۷۶ سانتی‌متر مربع) و ’شاهرود ۱۰‘ (۳۱/۸۱ سانتی‌متر مربع) بیشترین سطح برگ را داشتند و کمترین سطح برگ در شرایط تنش خشکی در رقم ’شاهرود۶‘ مشاهده گردید. بررسی نتایج اندازه‌گیری غلظت عناصر پرمصرف و کم مصرف نشان داد که افزایش شدت تنش کم‌آبی همراه با کاهش معنی‌دار مقدار نیتروژن، فسفر، منگنز و روی در برگ ارقام مورد مطالعه بادام بود، با این وجود مقدار پتاسیم و آهن در گیاهان رشد یافته تحت تنش خشکی بیشتر از شرایط نرمال آبیاری بود. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، در شرایط تنش خشکی رقم ’GN‘ در مقایسه با سایر ارقام مورد مطالعه از نظر شاخص‌های رشدی و غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف، مقاومت بیشتری داشت و کم‌تر تحت تأثیر شدت-های بالای کم‌آبی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، ’پایه GN‘، تحمل، صفات رویشی

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران
۲- دانشیار، مرکز تحقیقات گیاهان دارویی ادویه‌ای و عطری، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mehrabyadegari@gmail.com)
۳- گروه زراعت و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران
۴- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهار محال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران
۵- استادیار بخش تحققات خاک وآب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهار محال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران
DOI: 10.22067/jhs.2022.77478.1184

مقدمه

تغییر اقلیم جهانی و گرم شدن کره زمین موجب کاهش بارندگی، افزایش نوسان در بارندگی‌ها و در نهایت کاهش میزان آب سفره‌های زیرزمینی شده است. علی‌رغم اینکه آب از فراوان‌ترین ترکیبات روی کره زمین است، در حال حاضر کمبود آب در نتیجه کاهش بارندگی یکی از دغدغه‌های مهم و محدودیت کلیدی در تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود (Haas *et al.*, 2021). در شرایط حاضر یک سوم سطح زمین جزو مناطق خشک و نیمه خشک طبقه بندی می‌شود و در مناطق مرطوب هم گیاهان در طول فصل رشد با یک دوره تنش خشکی برخورد می‌کنند (Méndez-Toribio *et al.*, 2020). اگرچه تکنولوژی‌های نوین قادر به توزیع مناسب آب و افزایش راندمان مصرف جهت جلوگیری از هدررفت آب شده‌اند، با این وجود کاشت گیاهان متحمل به خشکی راه حل مناسب‌تری برای مناطق با کمبود منابع آبی می‌باشند (Toscano *et al.*, 2019). در چنین شرایطی شناسایی ژنوتیپ‌ها و ارقام گیاهی متحمل به کم آبی اهمیت ویژه‌ای دارد و یکی از اهداف مهم تحقیقاتی برای بسیاری از محصولات بوده و از راه حل‌های مناسب برای توسعه کشت در مناطق خشک و نیمه خشک به‌شمار می‌آید. ژنوتیپ‌های بومی ذخایر ژنتیکی ارزشمندی با خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مهمی چون تحمل به خشکی هستند که می‌توانند مورد شناسایی قرار گرفته و در برنامه‌های اصلاحی استفاده شوند (Sorkheh *et al.*, 2011). شناسایی عوامل و ویژگی‌های مؤثر در عملکرد محصول در این ژنوتیپ‌ها می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی ارزشمند باشد. برنامه‌های اصلاح ژنتیکی در راستای تحمل به خشکی با استفاده از تنوع ژنتیکی موجود نیاز به یک روش ارزیابی یا غربال کردن کارآمد دارد که باید سریع بوده و قادر به ارزیابی عملکرد گیاه در مراحل حساس رشدی و غربال کردن یک جمعیت بزرگ فقط با استفاده از تعداد محدود مواد گیاهی باشد. در این راستا پیش غربالی در برنامه‌های اصلاحی درختان میوه به دلیل داشتن دوره نونهالی طولانی بسیار اهمیت داشته و شناسایی نشانگرهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی که با صفات ارزشمند اصلاحی در ارتباط باشند، به پیشرفت برنامه‌های به‌نژادگران کمک شایانی می‌نمایند (Yadollahi *et al.*, 2011).

گونه‌های مختلف بادام عمدتاً به عنوان درختان یا درختچه‌های مقاوم به خشکی شناخته شده‌اند و با محیط‌های خشک و نیمه خشک سازگاری یافته‌اند. گونه‌های وحشی بادام دارای تنوع ژنتیکی بسیار بالایی هستند و منبع ژرم پلاسم ارزشمندی جهت استفاده در برنامه های اصلاحی به شمار می‌روند (De Herralde *et al.*, 2001 ; Gradzıel *et al.*, 2014). از آنجایی که بسیاری از گونه‌های وحشی بادام به‌عنوان پایه برای بادام اهلی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، گزینش مقاوم‌ترین پایه‌ها بر اساس بررسی خصوصیات مورفولوژیکی آن‌ها در شرایط تنش خشکی، در راستای بهبود عملکرد میوه در محیط‌های خشک اهمیت فراوانی دارد (Sorkheh *et al.*, 2011). علاوه بر این، تفاوت در تحمل ژنوتیپ‌ها، ارقام و گونه‌های مختلف بادام نسبت به تنش‌های غیر زیستی از جمله خشکی، شوری و سرما توسط محققین مختلفی گزارش شده است (Barzegar *et al.*, 2012; Zokaee Khosroshahi, 2013). رقم سوپرنووا و ژنوتیپ‌های ایرانی "۸–۶" و "B-124" به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی توسط کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2015) معرفی شده‌اند. ایساکیدیس و همکاران (Isaakidis *et al.*, 2004) عادت‌های رشدی و فیزیولوژیکی بادام رقم فرانیس روی ۸ پایه مختلف را بررسی قرار دادند و رقم فرانیس روی 'رقم GN22' را بر اساس خصوصیاتی مورفولوژیکی، پتانسیل آب برگ و ریزش برگ متحمل به تنش خشکی گزارش کردند که از نظر بیشتر خصوصیات مورد بررسی با پایه‌های 'GN15، GF677 و Derepanto' اختلاف معنی‌دار نداشته است. دی‌هرالد (De Herralde, 2000) تحمل به تنش خشکی را در هشت رقم تجاری بادام در شرایط گلدانی بررسی و گزارش کرد که ارقام مختلف در شرایط کمبود آب از نظر خصوصیات رویشی تفاوت‌های قابل توجهی با یکدیگر داشته‌اند. استفاده از تنوع ژنتیکی با انتخاب ژنوتیپ‌ها یا ارقام متحمل به خشکی از طریق کنترل آبیاری در مزرعه یا شرایط کنترل شده در گلخانه انجام می شود. بر این اساس مطالعه و بررسی تنوع ژنتیکی بر اساس خصوصیات رشدی و عملکردی از کارآمدترین روش‌ها در اصلاح گیاهان برای معرفی و انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی است، زیرا مقاومت به خشکی یک صفت کمی است که توسط چند ژن کنترل می‌شود. بنابراین استفاده از این روش گزینش نسبت به سایر روش‌های اصلاح، زودتر به نتیجه می‌رسد (Kim *et al.*, 2020).

با در نظر گرفتن موارد مزبور و با توجه به برنامه توسعه باغات دیم و گسترش باغات با آبیاری تحت کنترل در اراضی شیب‌دار در استان چهارمحال و بختیاری، ارزیابی و مقایسه واکنش ارقام مختلف بادام به تنش خشکی بر روی یک پایه رویشی و یکنواخت جهت انتخاب و توصیه کشت رقم مقاوم در شرایط کم آبی ضروری به نظر می‌رسد. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تحمل به سطوح مختلف تنش آبی در نهال‌های پیوندی چهارده رقم تجاری بادام روی پایه 'GN' انجام گردید که تاکنون مقایسه خصوصیات رشدی این ارقام بر روی یک پایه رویشی مشترک در کشور مورد مطالعه قرار نگرفته است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهار محال و بختیاری اجرا گردید. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری در منطقه‌ای موسوم به چهارتخته در کیلومتر ۵ جاده شهرکرد-فرخشهر واقع گردیده است. این منطقه دارای عرض جغرافیایی ۵۳ درجه، ۱۷ دقیقه و ۳۲ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه، ۵۵ دقیقه و ۵۳ ثانیه شرقی است. در منطقه مورد مطالعه، حداقل دما در زمستان و حداکثر دما در تابستان به ترتیب ۲۷/۴ و ۳۸/۸ درجه سانتی‌گراد می باشد. متوسط بارندگی و رطوبت نسبی به ترتیب ۳۱۵ میلی‌متر و ۴۷ درصد است. بر اساس روش گوسن و طبقه‌بندی اقلیمی و بیوکلیماتیک ایران، این منطقه در اقلیم استپی سرد قرار دارد و طبق روش آمبرژه این منطقه جزء مناطق خشک محسوب می‌گردد.

این پژوهش در زمینی به ابعاد ۵۰ × ۶۰ متر با تعداد ۱۶۸ نهال بادام در قالب کرت‌های یکبار خرد شده (اسپلیت پلات) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا شد. دورهای مختلف آبیاری بر اساس درصد رطوبت قابل استفاده خاک بین ظرفیت زراعی تا نقطه پژمردگی شامل ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (شاهد یا بدون تنش)، ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (تنش ملایم)، ۳۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (تنش متوسط) و ۱۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (تنش شدید) به عنوان فاکتور اصلی آزمایش در نظرگرفته شد. فاکتور فرعی شامل ۱۴ رقم تجاری بادام ('مامایی'، 'ربیع'،'صبا'،'آراز'،'اسکندر'،'آیدین'،'شاهرود۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۳ و ۲۱ و 'پایه رویشی GN ') بود که همگی بر روی پایه 'GN' پیوند زده شده بودند. قبل از اجرای آزمایش، خاک زمین محل اجرای پروژه مورد آزمایش قرار گرفت و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱). کوددهی بر اساس بررسی نتایج آنالیز خصوصیات فیزیکو-شیمیایی خاک صورت گرفت.

برای انجام این آزمایش، اوایل شهریور ماه سال ۱۳۹۷، نهال‌های دوساله پیوندی یکنواخت از نظر سن، قطر ساقه و ارتفاع انتخاب و در فواصل ۵۰ سانتی‌متر روی ردیف و ۲ متر بین دو ردیف کشت شدند. ابعاد هر کرت آزمایشی ۲ × ۳ متر بود. فاصله بین کرت‌های فرعی ۱ متر و کرت‌های اصلی ۱/۵ متر بود. در شروع فصل کشت در سال دوم، به مدت ۲-۳ ماه قبل از شروع تیمار تنش آبیاری، مراقبت‌های لازم از نهال‌ها انجام گردید. به‌منظور اعمال تنش خشکی، در اواسط خرداد ماه سال ۱۳۹۸ در هر واحد آزمایشی، لوله‌های مخصوص دستگاه رطوبت سنج (TDR) جهت اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک نصب شد و براساس قرائت دستگاه، دور آبیاری در تیمارهای مختلف تعیین گردید. در سال دوم نیز به همین روش سطوح مختلف تنش خشکی اعمال شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکو-شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه

Table 1- The soil physico-chemical properties of the studied filed

هدایت الکتریکی Electric conductivity (dS m^{-1})	کل مواد خنثی Total neutralizing value (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	کل نیتروژن Total nitrogen (%)	اسیدیته Acidity	پتاسیم Potassium ($mg.kg^{-1}$)	فسفر Phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	روی Zinc ($mg.kg^{-1}$)	منگنز Manganese ($mg.kg^{-1}$)	آهن Iron ($mg.kg^{-1}$)	مس Copper ($mg.kg^{-1}$)	بر Boron ($mg.kg^{-1}$)
0.969	31.3	0.586	0.049	7.89	293	14.8	0.79	10.55	4.13	1.57	2.08

صفات مورد ارزیابی

صفات رویشی

سه ماه پس از اعمال تنش، در هر واحد آزمایشی با حذف اثر حاشیه‌ای، نهال‌های پیوندی از نظر صفات رشدی و غلظت عناصر غذایی در هر دو سال مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. صفات رویشی شامل ارتفاع نهال، قطر ساقه، طول و عرض تاج، تعداد و طول شاخه‌های فرعی، تعداد میانگره‌های شاخه‌های فرعی و سطح برگ اندازه‌گیری شد. ارتفاع نهال، طول و عرض تاج و همچنین طول شاخه‌های فرعی با متر تعیین گردید. قطر ساقه با کولیس اندازه‌گیری شد و از دستگاه سطح‌سنج (LI3100CAREA METER) جهت اندازه‌گیری سطح برگ استفاده گردید.

اندازه‌گیری عناصر غذایی

نیتروژن

جهت اندازه‌گیری درصد نیتروژن، برگ خشک آسیاب شده در لوله هضم ریخته و کاتالیزور همراه با اسید سولفوریک غلیظ به آن افزوده شد. عصاره حاصل در لوله آزمایش به مدت ۲ ساعت روی دستگاه هضم قرار داده شد و بعد از سرد شدن محتویات لوله، سود ۱۰ نرمال و محلول اسید بوریک اضافه گردید. تیتراسیون با اسیدسولفوریک ۰/۰۰۵ نرمال انجام گرفت و بر اساس میلی‌لیتر

اسیدسولفوریک مصرف شده، میزان نیتروژن به صورت درصد نیتروژن موجود در نمونه با ماکروکجلدال اندازه‌گیری شد (Emami, 1996).

فسفر

میزان فسفر برگ، بر اساس روش کالریمتری اندازه گیری شد و جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شدند (Emami, 1996).

پتاسیم

برای اندازه‌گیری میزان پتاسیم از روش هضم سوزاندن نمونه خشک گیاهی در کوره با دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ ساعت و واکنش با اسیدکلریدریک ۱/۵ مولار استفاده گردید. مقدار پتاسیم بر اساس روش فلیم فتومتری تعین گردید (Emami, 1996).

آهن، منگنز و روی

برای اندازه‌گیری میزان آهن، منگنز و روی در برگ، ۸ میلی‌لیتر از محلول ۳ به ۱ اسیدکلریدریک به اسید نیتریک غلیظ، به نمونه‌های برگی اضافه و در دمای اتاق قرار داده شدند. سپس از ۲۴ ساعت، به منظور خارج شدن بخارات اسیدی از محلول، عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد و با دستگاه جذب اتمی میزان آهن، منگنز و روی نمونه‌ها اندازه گیری گردید (Emami, Lindsay and Norvell, 1978 ; 1996).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS 16 و مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. جهت رسم نمودارها از نرم افزار Excel 2013 استفاده شد. برآورد همبستگی بین صفات بر اساس آزمون همبستگی پیرسون انجام گردید.

نتایج و بحث

صفات رویشی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس ارتفاع نهال‌های بادام به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سال، رقم، تنش خشکی و اثرات متقابل آن‌ها بوده است (جدول ۲).

به دلیل رشد رویشی سالیانه، ارتفاع نهال‌های بادام در سال دوم در همه ارقام بیشتر از سال اول بود. در همه ارقام بادام در هر دو سال مورد مطالعه، بیشترین ارتفاع متعلق به نهال‌هایی بود که در شرایط بدون تنش رشد یافته بودند و با افزایش شدت تنش خشکی، ارتفاع نهال‌ها کاهش یافت. در شرایط بدون تنش بیشترین ارتفاع نهال در رقم 'GN' با ۲۲۷/۶۳ سانتی‌متر در سال دوم مشاهده شد و رقم 'صبا ' در سال اول کمترین ارتفاع (۱۴۸/۹۹ سانتی‌متر) را در بین ارقام مورد مطالعه داشت. در تنش شدید خشکی ارقام 'GN' و 'مامایی'، به ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع را داشتند. ارتفاع نهال در ارقام 'GN'، 'شاهرود۱۲'،'صبا ' و 'شاهرود۱۰' کمترین کاهش را در شرایط تنش شدید خشکی نشان دادند. در مقابل بیشترین میزان کاهش ارتفاع در ارقام 'شاهرود۶'، 'مامایی'، 'ربیع' و 'شاهرود۱۳' مشاهده گردید که ارتفاع نهال‌های این ارقام به ترتیب ۴۱/۳۳، ۳۹/۳۸، ۳۳/۵۱، ۳۳/۶۹ درصد در شرایط تنش شدید خشکی نسبت به شرایط بدون تنش کاهش داشتند (شکل ۱). در بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری قطر ساقه نهال‌های بادام مشخص گردید که سال، رقم و سطوح مختلف آبیاری اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر قطر ساقه داشتند ولی اثر متقابل رقم و تنش خشکی روی این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). بررسی اثر تنش خشکی نشان داد که تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری قطر ساقه را کاهش داد و بیشترین (۲۸/۲۷ میلی‌متر) و کمترین (۲۰/۴۸ میلی‌متر) قطر ساقه به ترتیب در شرایط بدون تنش (۷۰ درصد FC) و تنش شدید (۱۰ درصد FC) مشاهده شد (شکل ۲–A). در بین ارقام مورد مطالعه رقم 'شاهرود۱۲' بیشترین قطر ساقه (۳۳/۸۳ میلی‌متر) و رقم 'ربیع' (۲۱/۱۸ میلی‌متر) کمترین قطر را داشتند (شکل ۲–B). بر اساس نتایج تجزیه واریانس طول و عرض تاج نهال‌های بادام تغییری معنی‌داری در طول دو سال داشته است. همچنین اثر رقم، سطوح مختلف تنش خشکی و اثر متقابل رقم × تنش خشکی نیز بر طول و عرض تاج در نهال‌های بادام معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط بدون تنش، رقم 'GN' بیشترین طول (۱۴۹/۶ سانتی‌متر) و عرض (۱۷۲/۳۸ سانتی‌متر) تاج را داشت و کمترین طول (۶۱/۶۹ سانتی‌متر) و عرض (۶۳/۷۱ سانتی‌متر) تاج به‌ترتیب در ارقام 'اسکندر' و 'ربیع' مشاهده شد. در همه ارقام، تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار طول و عرض تاج نهال‌ها گردید و بیشترین کاهش در تنش شدید خشکی (۱۰ درصد FC) ثبت گردید. تحت تنش شدید خشکی رقم 'GN' بزرگترین تاج و ارقام 'ربیع'،'شاهرود۷' و 'اسکندر' کوچکترین تاج را داشتند. بر اساس نتایج به‌دست آمده در ارقام 'GN' و 'شاهرود۸' نسبت به سایر ارقام، رشد تاج نهال کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. با اینحال بیشترین کاهش در رشد تاج به‌ترتیب در ارقام 'ربیع'،'شاهرود ۲۱، ۱۳ و ۶' مشاهده گردید (جدول ۳).

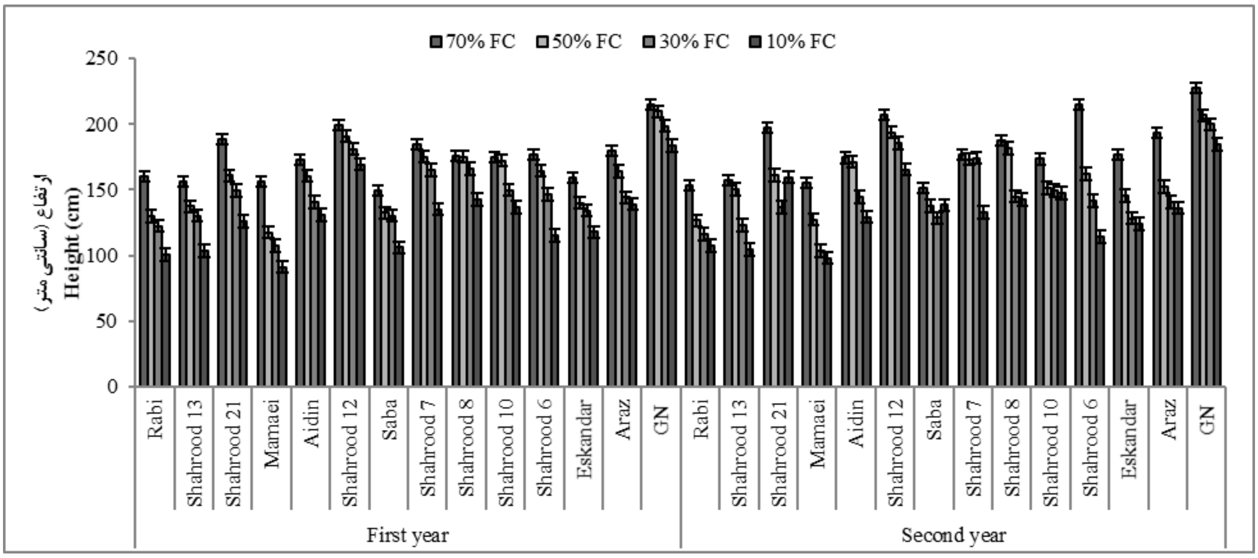
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات رشدی ارقام مختلف بادام تحت تنش خشکی در دو سال مورد مطالعه

Table 2- ANOVA forthe growth traits of different almond cultivars under drought stress in two studied years

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares							
		ارتفاع نهال Height	قطر ساقه Stem diameter	طول تاج Crown length	عرض تاج Crown width	تعداد شاخه فرعی No. of sub-branch	طول شاخه فرعی Sub-branch length	تعداد میانگره شاخه فرعی No. of internode of sub-branch	سطح برگ Leaf area
سال Year	1	591.587 *	362.680 **	291.910 **	151.018 **	35.131 ns	24.265 *	208.571 **	3175.755 **
تکرار (سال) Replication (Year)	4	185.377 ns	469.148 **	4.941 ns	33.263 ns	70.103 **	0.213 ns	1.161 ns	290.583 **
خشکی Drought	3	33540.703 **	879.549 **	6488.509 **	5753.994 **	1071.148 **	1682.783 **	2196.724 **	883.345 **
سال × خشکی Drought × Year	3	515.298 **	119.140 **	11.555 ns	7.235 ns	0.293 ns	0.005 ns	11.746 **	38.814 **
خطای اصلی Main error	12	244.825	10.259	27.576	7.032	92.965	23.199	2.907	41.169
رقم Cultivar	13	12303.590 **	274.695 **	12028.958 **	16191.580 **	620.193 **	1408.838 **	664.474 **	723.769 **
سال × رقم Cultivar × Year	13	89.755 ns	38.306 **	0.0001 ns	0.0002 ns	0.379 ns	0.036 ns	0.0002 ns	16.007 **
خشکی × رقم Drought × Cultivar	39	344.787 **	7.920 ns	89.130 **	54.205 **	13.793 ns	19.089 **	15.751 **	7.082 *
سال × خشکی × رقم Drought × Year × Cultivar	39	180.179 **	8.955 ns	0.0003 ns	0.0003 ns	0.406 ns	0.032 ns	0.0006 ns	2.447 ns
خطای فرعی Minor Error	208	85.806	9.244	11.557	17.774	16.191	5.982	2.713	4.593

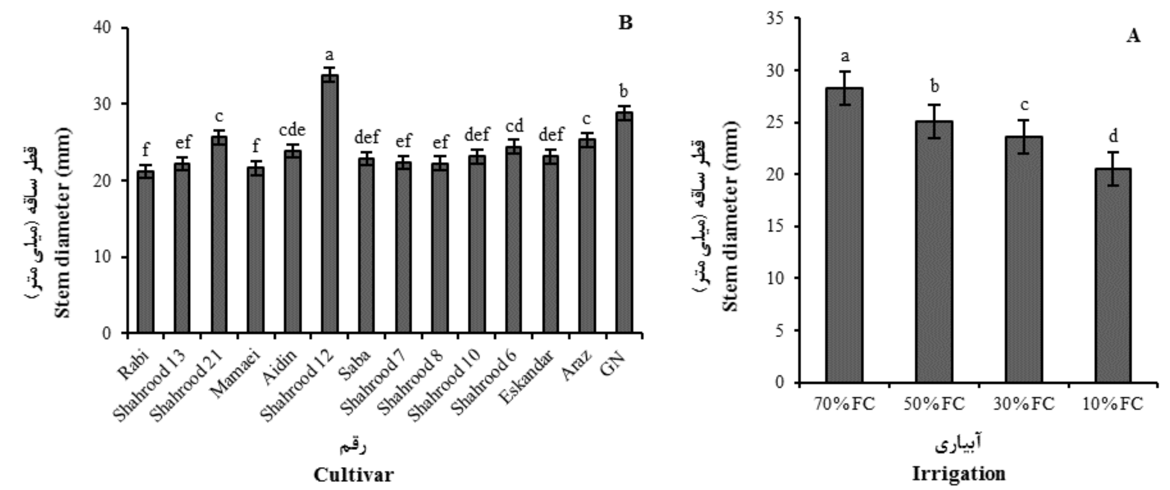
ns غیر معنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

ns Non-significant, ** and *: Significant at 1% and 5% of probability levels



شکل ۱- اثر تنش خشکی بر ارتفاع ارقام مختلف بادام در دو سال مورد مطالعه

Figure 1- The effect of drought stress on height of different almond cultivars in two studying years



شکل ۲- اثر سطوح مختلف تنش خشکی (A) و نوع رقم (B) بر قطر ساقه نهال بادام

Figure 2- The effect of drought stress (A) and cultivar (B) on stem diameter of almond tree (DMRT, *p≤0.05*)

چرخه رشد درختان طولانی مدت است بنابراین پیش غربال کردن نهال‌ها در برنامه‌های اصلاحی درختان میوه اهمیت زیادی دارد. درختان برای مقابله با تنش کم آبی عموماً از مکانیسم اجتناب بافت‌ها از تنش کم آبی بهره می‌برند. اندام‌های مختلف گیاهی مانند ساقه، ریشه و برگ نسبت به تنش خشکی حساس هستند و خشکی باعث کاهش توسعه سلول‌های این اندام‌ها می‌شود (Bodner *et al.*, 2015). از آنجایی که رشد یکی از حساس‌ترین فرآیندهای گیاهی نسبت به کاهش آب است، بنابراین کاهش رشد اولین واکنش گیاهان نسبت به تنش خشکی در بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌باشد. در پژوهش حاضر ارتفاع نهال‌ها، قطر ساقه، طول و عرض تاج در ارقام مختلف بادام تحت تأثیر تنش خشکی به‌ویژه تنش متوسط (۳۰ درصد FC) و شدید (۱۰ درصد FC) کاهش معنی‌داری داشتند (جدول ۳). مطابق با نتایج حاضر، پروانه و افشاری (Parvaneh and Afshari, 2013) گزارش کردند که با افزایش فواصل آبیاری رشد طولی (ارتفاع گیاه) و رشد قطری (قطر ساقه) در دانهال‌های حاصل از بذر توده‌های مختلف بادام کاهش یافت. کاهش رشد طولی تحت تأثیر تنش کم‌آبی در سیب (Treder *et al.*, 1996)، زیتون (Arzani and Arji, 2000) و بادام (Fulton *et al.*, 2014) گزارش شده است. تنش

خشکی با کاهش آماس سلولی، رشد طولی ساقه را کاهش می‌دهد (Condon, 2020).

بررسی رشد شاخه‌های فرعی در نهال‌های بادام نشان داد که تعداد و طول شاخه‌های فرعی و همچنین تعداد میانگره‌ها در شاخه‌های فرعی به‌طور معنی‌داری در ارقام مختلف بادام متفاوت بوده است و تنش خشکی به‌طور معنی‌داری این صفات را تحت تأثیر قرار دادند. بر اساس نتایج حاصل، اثرات متقابل رقم و تنش خشکی بر تعداد شاخه‌های فرعی معنی‌دار نبود با این وجود در دو سال مورد بررسی طول شاخه‌های فرعی و تعداد میانگره آن‌ها به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل رقم × خشکی قرار گرفتند (جدول ۲). بررسی اثر تنش خشکی نشان داد که افزایش شدت تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار تعداد شاخه‌های فرعی گردید و کمترین تعداد شاخه فرعی در تنش خشکی ۱۰ درصد FC ثبت گردید (شکل ۳-A). بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی در رقم 'آراز' (۲۷/۹۷ شاخه) مشاهده گردید که تفاوت معنی‌داری با ارقام 'شاهرود۶' (۲۷/۵۲ شاخه)، 'شاهرود۷' (۲۷/۵۱ شاخه) و 'شاهرود۸' (۲۶/۷۱ شاخه) نداشت. رقم 'شاهرود۱۳' (۱۳/۴۶ شاخه) کمترین تعداد شاخه‌های فرعی را داشت که با ارقام 'ربیع' (۱۴/۰۱ شاخه) و 'آیدین' (۱۵/۶۲ شاخه) تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۳-B).

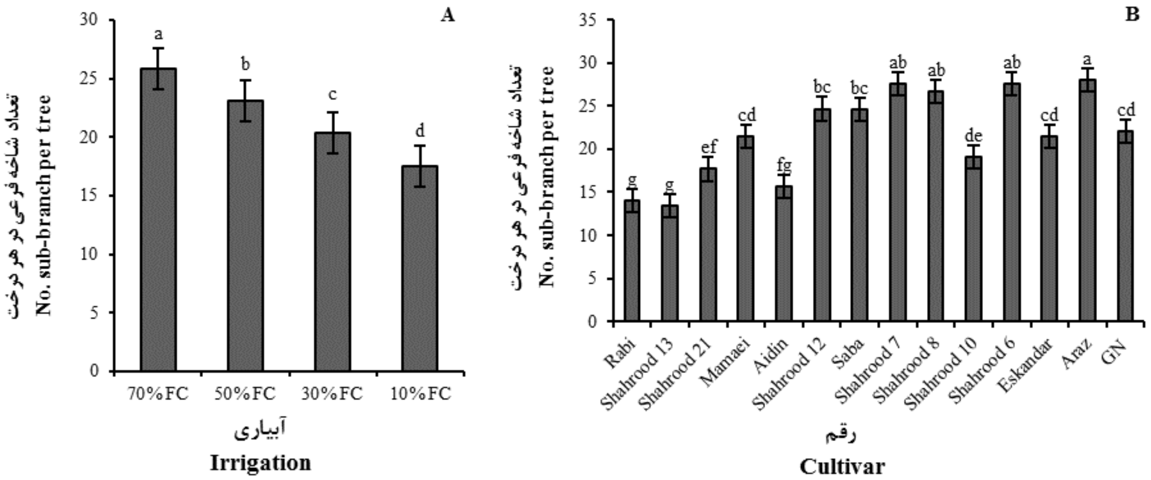
جدول ۳- طول و عرض تاج ارقام مختلف بادام تحت تنش خشکی

Table 3- Crown length and width of different almond cultivars under drought stress

رقم Cultivar	طول تاج Crown length (cm)				عرض تاج Crown width (cm)			
	شاهد 75% FC	تنش ملایم 50% FC	تنش متوسط 30% FC	تنش شدید 10% FC	شاهد 75% FC	تنش ملایم 50% FC	تنش متوسط 30% FC	تنش شدید 10% FC
ربیع (Rabi)	76.19 g	70.11 h	58.42 j	43.68 kl	63.71 k	61.92 l	53.50 m	40.89 n
شاهرود ۱۳ (Shahrood 13)	79.02 fg	65.77 i	59.76 j	55.18 jk	89.05 efg	79.25 h	74.67 i	65.72 k
شاهرود ۲۱ (Shahrood 21)	80.52 fg	76.44 g	65.42 i	53.52 jk	92.55 e	90.08 ef	77.83 hi	71.39 ij
مامایی (Mamaei)	81.69 f	79.77 fg	74.92 gh	56.68 j	93.21 e	87.25 fg	81.17 gh	66.55 jk
آیدین (Aidin)	82.69 f	73.44 gh	67.09 hi	63.02 ij	89.38 efg	82.75 gh	78.50 h	69.55 j
شاهرود ۱۲ (Shahrood 12)	82.02 f	81.61 f	76.76 g	68.18 hi	90.88 ef	89.58 efg	86.83 fg	79.72 h
صبا (Saba)	80.19 fg	75.44 gh	73.26 gh	61.02 j	87.88 fg	85.42 fg	80.83 gh	68.89 jk
شاهرود ۷ (Shahrood 7)	64.52 i	67.44 hi	57.09 j	45.68 kl	71.21 i	69.75 j	67.50 jk	53.89 lm
شاهرود ۸ (Shahrood 8)	77.85 g	75.11 gh	71.42 h	68.18 hi	86.55 fg	85.42 fg	80.50 gh	78.39 h
شاهرود ۱۰ (Shahrood 10)	64.02 i	57.94 j	52.09 jk	49.52 jkl	73.55 i	66.08 jk	60.83 l	57.72 lm
شاهرود ۶ (Shahrood 6)	94.35 d	75.44 gh	70.09 h	65.85 i	101.71 d	96.08 de	84.83 fg	74.05 i
اسکندر (Eskandar)	61.69 j	61.44 j	56.59 j	43.85 kl	75.05 hi	66.25 jk	63.17 k	58.05 lm
آراز (Araz)	95.85 d	92.44 d	89.09 e	77.68 g	106.21 d	105.92 d	93.17 e	86.22 fg
GN	154.19 a	149.60 a	142.09 bc	136.85 c	172.38 a	168.92 a	162.83 b	156.05 c

در هر صفت و گروه مقایسه شده، تیمارهای با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Values followed by the same letter in each trait have no significant difference based on Duncan'smultiple range test ($p \leq 0.05$)



شکل ۳- اثر سطوح مختلف تنش خشکی (A) و نوع رقم (B) بر تعداد شاخه فرعی نهال بادام

Figure 3- The effect of drought stress (A) and cultivar (B) on sub-branch number of almond tree (DMRT, $p \leq 0.05$)

بر اساس نتایج اثر متقابل رقم و تنش خشکی از نظر طول شاخه‌های فرعی، رقم 'GN' دارای طویل‌ترین شاخه (۵۵/۹۵ سانتی‌متر) در شرایط بدون تنش بود که به‌طور معنی‌داری بیشتر از طول شاخه‌های فرعی در سایر ارقام مورد مطالعه بادام بود. در این شرایط کوتاه‌ترین شاخه‌های فرعی در رقم 'اسکندر' (۲۹/۴۷ سانتی‌متر) مشاهده گردید. در همه ارقام مورد مطالعه طول شاخه با افزایش شدت تنش خشکی کاهش معنی‌داری داشته است. تحت تنش شدید خشکی بیشترین طول شاخه در رقم 'GN' ثبت گردید وکمترین طول شاخه در رقم 'مامایی' مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با ارقام 'شاهرود۱۳'، 'ربیع'، 'صبا'، 'شاهرود۷'، 'شاهرود۶' و 'اسکندر' نداشتند. بررسی نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد بیشترین کاهش در طول شاخه در ارقام 'شاهرود۶'، 'شاهرود۱۳'، 'ربیع' و 'شاهرود۷' تحت تنش خشکی ثبت است که به ترتیب ۴۰/۴۸، ۴۰/۱۴، ۳۹/۷۳ و ۳۹/۲۴ درصد کمتر از شرایط بدون تنش بود. تحت تنش خشکی، طول شاخه در ارقام 'GN'، 'شاهرود۸' و 'شاهرود۱۲' نسبت به سایر ارقام کاهش کمتری داشت (جدول ۴). تعداد میانگره‌ها در شاخه‌های فرعی بین ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری نشان دادند و بیشترین تعداد میانگره در شاخه‌های فرعی در شرایط نرمال آبیاری و تنش خشکی به ترتیب در ارقام 'شاهرود۸ و۱۲' مشاهده شد. در همه ارقام بادام تعداد میانگره‌ها در شاخه‌های فرعی در تمام سطوح تنش بیشتر از شرایط بدون تنش بود و بیشترین تعداد میانگره‌ها در گیاهان رشد یافته تحت تنش متوسط خشکی (۳۰ درصد FC) ثبت گردید. ارقام 'ربیع' (۵۱/۵۸ درصد)، 'شاهرود۱۳' (۴۹/۹۹ درصد)، 'صبا' (۴۸/۳۹ درصد) و 'مامایی' (۴۶/۲۸) بیشترین افزیش در تعداد میانگره‌های شاخه‌های فرعی تحت تنش متوسط را داشتند (جدول ۴).

تعداد شاخه‌های جانبی نقش مهمی در تعیین تعداد برگ‌ها و در نتیجه میزان فتوسنتز دارند و بررسی تعداد و طول شاخه‌های فرعی در شرایط تنش خشکی می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. تنش خشکی باعث کاهش در تعداد و طول شاخه‌های فرعی نهال‌های بادام شد و این دو صفت کاملاً تحت تأثیر نوع رقم مورد مطالعه بود (جدول ۴). موسوی و همکاران (Mousavi *et al.*, 2009) با بررسی تأثیر تنش خشکی روی دانهال ۵ رقم بادام ('مامایی'، 'ربیع'، سفید، 'شاهرود ۱۲ و ۲۱') گزارش کردند که تنش خشکی به طور معنی‌داری تعداد و طول شاخه‌های فرعی را تحت تأثیر قرار داده است. ارزانی و ارجی (Arzani and Arji, 2000) در بررسی واکنش گیاهان جوان زیتون به تنش آبی گزارش کردند که با کاهش آبیاری تعداد شاخه‌های فرعی و رشد قطری دانهال‌های زیتون به طور معنی‌داری کاهش یافت. یکی از دلایل کاهش رشد در شرایط تنش آبی ممکن است به دلیل بر هم خوردن تعادل هورمونی گیاه باشد. تنش آبی در گیاه سبب افزایش هورمون آبسزیک اسید و کاهش ایندول استیک اسید و سایتوکنین می‌شود که ممکن است منجر به کاهش رشد نسبت به شرایط طبیعی گردد (Ahanger *et al.*, 2017).

در اثر تنش خشکی، تبادلات روزنه‌ای کاهش یافته و موجب کاهش اسیمیلاسیون کربوهیدرات‌ها می‌شود که این امر نیز می‌تواند برفاکتورهای رشدی اثرگذار باشد (Martínez-García *et al.*, 2020; Fulton *et al.*, 2014). تانکاری و همکاران (Tankari *et al.*, 2021) کاهش رشد تحت تأثیر تنش خشکی را به افزایش شدت تنفس گیاه نسبت داده‌اند. با افزایش شدت تنش خشکی، میزان تنفس میتوکندریایی سلول‌های گیاهی افزایش یافته و در نتیجه آن کربوهیدرات‌های بیشتری مصرف می‌شود که این تغییرات می‌تواند در کاهش فاکتورهای رشد تأثیر داشته باشد.

جدول ٤- طول شاخه‌های فرعی، تعداد میانگره شاخه‌های فرعی و سطح برگ ارقام مختلف بادام تحت تنش خشکی

Table 4- The sub-branch length, number of sub-branch internode and leaf area of different almond cultivars under drought stress

Cultivar رقم	طول شاخه فرعی Sub-branch length (cm)				تعداد میانگره شاخه‌های فرعی No. of internode of sub-branch				سطح برگ Leaf area (cm^2)			
	شاهد 75% FC	تنش ملایم 50% FC	تنش متوسط 30% FC	تنش شدید 10% FC	شاهد 75% FC	تنش ملایم 50% FC	تنش متوسط 30% FC	تنش شدید 10% FC	شاهد 75% FC	تنش ملایم 50% FC	تنش متوسط 30% FC	تنش شدید 10% FC
ربیع (Rabi)	35.02 de	26.60 g	24.65 gh	21.11 i	15.45 n	19.49 kl	31.91 def	23.92 hi	20.55 de	12.56 i	11.92 ij	8.05 m
شاهرود ۱۳ (Shahrood 13)	32.26 ef	29.06 fg	22.58 h	19.31 ij	13.36 o	19.40 kl	26.70 gh	22.67 j	17.29 f	9.88 kl	9.70 kl	7.35 m
شاهرود ۲۱ (Shahrood 21)	36.13 de	35.31 de	32.26 ef	23.02 h	18.57 klm	26.03 gh	31.70 def	30.54 ef	20.61 de	12.19 i	10.79 ijk	7.49 m
مامایی (Mamaei)	30.49 f	25.15 gh	22.82 h	19.05 ij	15.91 n	18.90 klm	29.62 f	25.41 ghi	19.22 e	11.83 ij	10.84 ijk	7.46 m
آیدین (Aidin)	40.63 cd	37.27 de	36.18 de	31.02 f	26.33 gh	27.61 gh	35.75 d	32.25 de	23.42 d	16.23 fg	16.18 fg	10.54 ijk
شاهرود ۱۲ (Shahrood 12)	42.61 c	42.38 c	39.05 d	35.12 de	30.87 ef	35.07 d	42.31 a	39.46 b	23.14 d	20.73 de	16.66 fg	11.28 ij
صبا (Saba)	29.94 f	29.52 fg	21.91 hi	20.89 i	14.52 no	21.36 jk	28.12 g	23.50 hi	15.86 g	10.84 ijk	10.72 ijk	7.37 m
شاهرود ۷ (Shahrood 7)	35.72 de	35.3 de	29.68 fg	21.71 hi	23.83 hi	27.03 gh	39.16 b	34.58 de	19.08 e	14.49 h	11.52 ij	7.35 m
شاهرود ۸ (Shahrood 8)	42.39 c	39.56 d	36.64 de	35.11 de	31.14 def	33.24 de	40.79 ab	37.08 c	19.06 e	14.17 h	13.66 hi	9.38 kl
شاهرود ۱۰ (Shahrood 10)	39.28 d	35.58 de	33.51 ef	31.02 f	19.33 kl	21.32 jk	30.29 ef	28.62 g	31.81 c	18.03 ef	17.35 f	16.10 fg
شاهرود ۶ (Shahrood 6)	35.05 de	30.29 f	26.11 g	20.86 i	25.08 ghi	29.15 f	36.83 c	34.71 d	16.62 fg	9.81 kl	8.43 m	5.43 mn
اسکندر(Eskandar)	29.47 fg	25.21 gh	27.18 g	21.00 i	18.74 klm	21.78 jk	24.46 hi	23.46 hi	19.87 de	13.42 hi	12.85 i	6.99 mn
آراز (Araz)	32.78 ef	30.70 f	29.31 fg	23.76 h	20.19 k	21.65 jk	31.75 def	27.37 gh	14.78 h	9.24 kl	9.13 kl	6.88 mn
GN	55.95 a	53.55 a	51.07 b	47.95 bc	24.00 hi	26.24 gh	30.92 ef	29.29 f	37.76 a	33.23 b	30.52 c	21.20 de

در هر صفت و گروه مقایسه شده، تیمارهای با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Values followed by the same letter in each trait have no significant difference based on Duncan'smultiple range test ($p \leq 0.05$)

در پژوهش حاضر تعداد میانگره شاخه‌ها تحت سطوح مختلف تنش بیشتر از شرایط بدون تنش بود و بیشترین افزاش در تعداد میانگره در نهال‌های رشد یافته در سطح تنش متوسط (۳۰ درصد FC) مشاهده گردید. گیاهان تحت تنش خشکی با کاهش روند انگیزش برگ‌های جدید، مکانیزمی در جهت فرار از خشکی ایجاد می‌کنند. بنابراین کاهش فاصله میانگره‌ها و در نتیجه افزایش تعداد میانگره‌ها جهت کاهش تعداد برگ‌ها بوده است. در اثر تنش خشکی آماس سلولی کاهش یافته و در نتیجه باعث کاهش در رشد طولی و تقسیم سلولی می‌شود و مجموع این عوامل باعث کاهش رشد عمومی گیاه از جمله کاهش فواصل میانگره‌ای می‌شود. این نتایج با گزارشات فولتون و همکاران (Fulton *et al*., 2014)؛ پروانه و افشاری (Parvaneh and Afshari, 2013) مطابقت دارد.

نتایج تجزیه واریانس سطح برگ در تیمارهای مورد بررسی بیانگر اثر معنی‌دار نوع رقم، سطح تنش خشکی و اثرات متقابل آن‌ها بر سطح برگ بوده است. سطح برگ نهال‌های بادام در طول دو سال مورد مطالعه نیز تغییر معنی‌داری داشت (جدول ۲). تنش خشکی اثر معنی‌داری در کاهش سطح برگ در همه ارقام مورد مطالعه بادام داشت و بیشترین کاهش در شدیدترین سطح تنش مشاهده گردید. رقم 'GN' بیشترین سطح برگ را در شرایط بدون تنش و همچنین سطوح مختلف تنش خشکی داشت. در شرایط بدون تنش، کمترین سطح برگ در رقم 'آراز' (۱۴/۷۸ سانتی‌متر مربع) ثبت گردید و در سطح شدید خشکی (۱۰ درصد FC) رقم 'شاهرود۶' کمترین سطح برگ را داشت. در تیمار ۱۰ درصد FC (تنش شدید)، ارقام 'شاهرود۶'،'اسکندر'، 'شاهرود۲۱'،'شاهرود۷'، 'مامایی' و 'ربیع' بیش از ۶۰ درصد کاهش در سطح برگ را داشتند با این‌حال ارقام 'GN'، 'شاهرود۸' و 'شاهرود ۱۰' به ترتیب کمترین کاهش سطح برگ را در واکنش به تنش شدید خشکی نشان دادند (جدول ۴).

رشد شاخساره‌ها در مقایسه با ریشه‌ها نسبت به تنش آبی حساس‌تر است، چون قسمت‌های هوایی درخت بیشتر در معرض اثرات دهیدراسیون محیطی می‌باشد (Chai *et al*., 2016). تحت تنش خشکی، کاهش توسعه و تقسیم سلولی موجب کاهش تعداد و سطح برگ می‌گردد که منجر به کاهش سطح جذب کننده نور و در نتیجه کاهش رشد می‌شود (Palasciano *et al*., 2013). کاهش رشد گیاه در تنش شدید خشکی به این دلیل رخ می‌دهد که گیاه قادر نیست شیب پتانسیل آب بین نقطه رشد برگ و آوند چوبی را حفظ کند، بنابراین نمی‌تواند آبرسانی به سلول‌های در حال رشد را حفظ کند (Khoyerdi *et al*., 2016). این تغییرات متابولیسمی گیاه در واکنش به شرایط نامساعد محیطی پیری برگ‌ها را تسریع می‌کنند (Mousavi *et al*., 2009). از طرفی مقاومت مکانیکی خاک با خشک شدن خاک افزایش می‌یابد و این حالت منجر به کاهش رشد می‌شود (Chai *et al*., 2016).

عناصر غذایی

تجزیه واریانس غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در برگ نهال‌های بادام نشان داد که مقدار هر یک از عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر، آهن، منگنز و روی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات متقابل رقم و تنش خشکی قرار داشته است. مقدار عناصر نیتروژن، فسفر، آهن، منگنز و روی در طول دو سال تغییر معنی‌داری داشتند و اثر سال تنها بر مقدار پتاسیم معنی‌دار نبود. بر اساس نتایج حاصل اثر متقابل تیمارهای مورد مطالعه سال، رقم و تنش خشکی تنها بر مقدار عناصر روی و منگنز معنی‌دار بوده است (جدول ۵).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و تنش خشکی نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار مقدار نیتروژن در ارقام مختلف بادام گردید. اگرچه مقدار نیتروژن در برگ‌های ۱۴ رقم بادام مورد مطالعه تفاوت قابل توجهی نداشت ولی بیشترین مقدار نیتروژن در شرایط بدون تنش (۲/۵۱ درصد) و تنش شدید خشکی (۲/۱۵ درصد) در برگ‌های رقم 'GN' حاصل شد. در ارقام 'شاهرود۱۳'،'ربیع'،'شاهرود۲۱'، 'مامایی'، 'شاهرود۱۲'و 'شاهرود۶' تحت تنش شدید خشکی بیش از ۳۰ درصد مقدار نیتروژن در مقایسه با شرایط فاقد تنش کاهش داشت. کمترین کاهش در مقدار نیتروژن برگ در ارقام 'GN' و 'شاهرود۱۰' مشاهده شد که در تیمار ۱۰ درصد FC مقدار نیتروژن به ترتیب ۱۴/۳۴ و ۱۵/۴۵ درصد کمتر از تیمار ۷۰ درصد FC بود (شکل ۴-A).

در شرایط نرمال آبیاری مقدار فسفر در رقم 'GN' (۰/۲۹۸ درصد) بیشتر از سایر ارقام بود و کمترین مقدار فسفر (۰/۱۹۹ درصد) در رقم 'شاهرود۱۳' اندازه‌گیری شد. تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار مقدار فسفر برگ‌های ارقام مختلف بادام گردید و میزان کاهش فسفر در سطح تنش شدید خشکی بیشتر از سایر تیمارها بود. در شرایط تنش خشکی بیشترین (۰/۲۳۶ درصد) و کمترین (۰/۱۰۴ درصد) مقدار فسفر به ترتیب در ارقام 'GN' و 'ربیع' حاصل شد. رقم 'ربیع' ۵۶/۷۹ درصد کاهش فسفر در تنش شدید نسبت به شاهد (۷۰ درصد FC) داشته است که نسبت به ارقام دیگر مورد بررسی بیشتر بود (شکل ۴-B). بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان پتاسیم در برگ‌های ارقام مورد مطالعه بادام، بالاترین میزان پتاسیم (۱/۴۵ درصد) در برگ‌های رقم 'مامایی' ثبت شد. با افزایش شدت تنش خشکی مقدار پتاسیم در برگ‌های ارقام مورد مطالعه بادام روند افزایشی نشان داد و بیشترین افزایش در ارقام 'شاهرود۸' (۱۰/۳۵ درصد)، 'شاهرود۱۲' (۱۰/۱۱ درصد) و 'GN' (۱۰/۱۵ درصد) بود. تحت تنش شدید خشکی بیشترین مقدار پتاسیم (۱/۵۶ درصد) در

ارقام 'شاهرود۸' و 'GN' حاصل شد (شکل ۴-C). مقدار آهن در برگ نهال‌های بادام تفاوت معنی‌داری داشته است و در شرایط بدون تنش بیشترین (۱۵۱/۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کمترین (۱۰۶/۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) مقدار عنصر آهن به‌ترتیب در ارقام 'GN' و 'مامایی' حاصل شد. افزایش شدت تنش خشکی، موجب افزایش معنی‌دار مقدار آهن گردید و بیشترین مقدار آهن در سطوح مختلف خشکی در رقم 'GN' با مقدار ۱۶۲/۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ثبت شد و رقم 'اسکندر' کمترین مقدار آهن را تحت تنش خشکی داشت. بسته به نوع رقم، بیشترین میزان افزایش عنصر آهن در واکنش به تنش خشکی در تیمارهای ۳۰ درصد و ۱۰ درصد ظرفیت زراعی ثبت گردید. میزان افزایش مقدار آهن در واکنش به تنش خشکی در ارقام 'GN'، 'مامایی' و 'شاهرود۸' بیشتر از سایر ارقام بود و کمترین مقدار افزایش در ارقام 'شاهرود۱۰' و 'شاهرود۲۱' ثبت گردید (شکل ۴-D).

بررسی اثر متقابل سال، رقم و تنش خشکی بر مقدار عنصر منگنز نشان داد که مقدار این عنصر در ارقام مورد مطالعه بادام تحت سطوح مختلف خشکی در سال دوم آزمایش کمتر از سال اول بود. مقدار منگنز در همه ارقام مورد مطالعه تحت تنش خشکی روند کاهشی داشته است و مقدار این کاهش در بین ارقام بادام تفاوت معنی‌داری نشان داد. بنابراین ارقام رشد یافته در شرایط بدون تنش در سال اول آزمایش بیشترین مقدار عنصر منگنز را داشتند در حالی‌که کمترین مقدار این عنصر در سال دوم آزمایش و در شرایط تنش شدید خشکی (۳۰ درصد FC) حاصل گردید. در شرایط بدون تنش بیشترین مقدار عنصر منگنز (۳۵/۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) در برگ‌های رقم 'ربیع' در سال اول آزمایش ثبت گردید و کمترین مقدار (۲۶/۷۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) در سال دوم آزمایش در رقم 'شاهرود۶' به‌دست آمد.

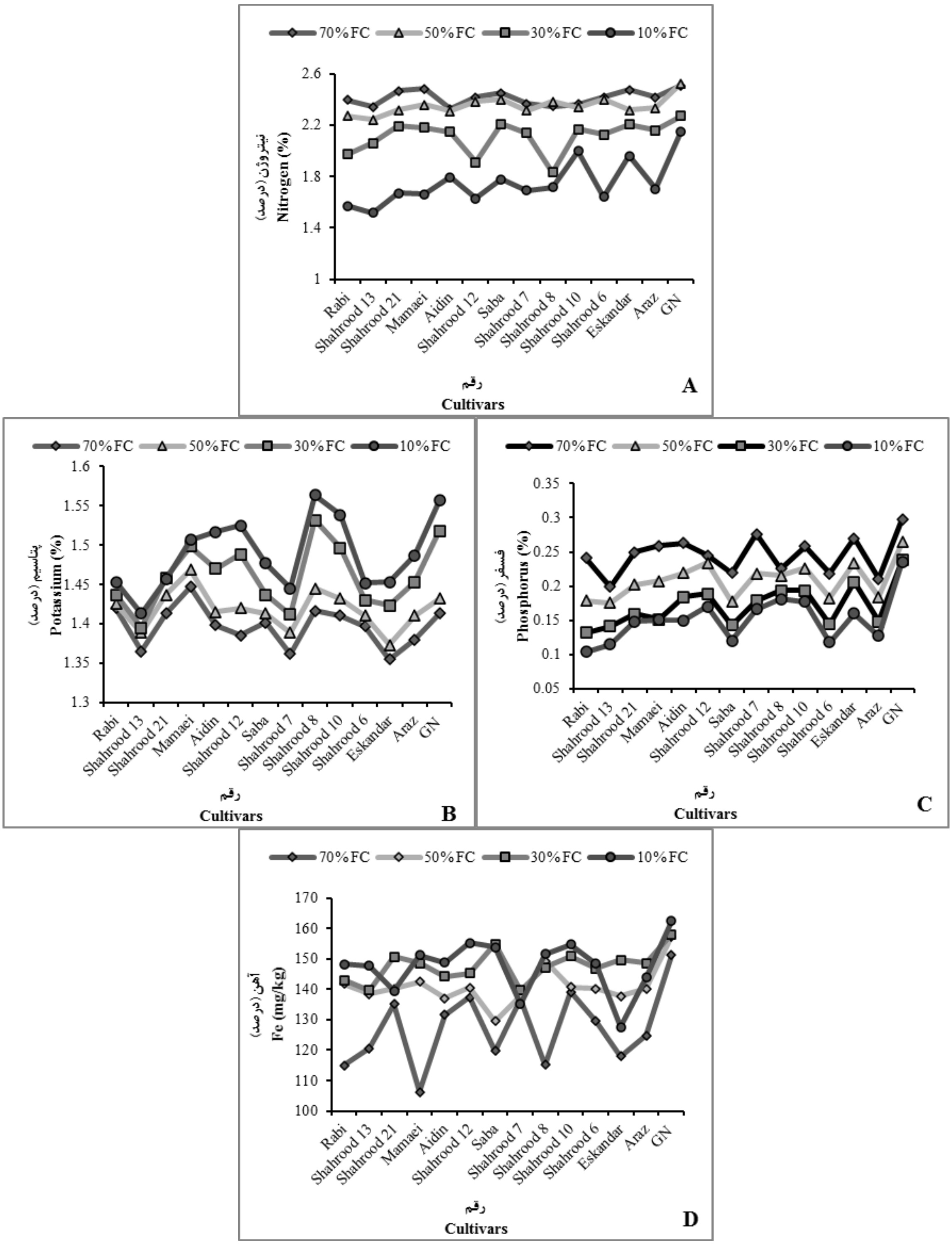
جدول ۵- تجزیه واریانس غلظت عناصر پرمصرف و کم مصرف در برگ ارقام مختلف بادام تحت تنش خشکی در دو سال مورد مطالعه

Table 5- ANOVA for the leaf macro and micro elements of different almond cultivars under drought stress in two studied years

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					
		نیتروژن Nitrogen	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	آهن Iron	منگنز Manganese	روی Zinc
سال Year	1	0.504 **	0.001 ns	0.006 **	993.541 **	87.296 **	24.145 **
تکرار (سال) Replication (Year)	4	0.831 **	0.001 **	0.0002 *	190.388 ns	2.130 ns	1.629 ns
خشکی Drought	3	0.774 **	0.142 **	0.143 **	7883.056 **	1015.932 **	692.449 **
سال × خشکی Drought × Year	3	0.086 **	0.00008 ns	0.0003 *	62.976 ns	3.334 ns	1.242 ns
خطای اصلی Main error	12	1.381	0.0001	0.0003	58.124	2.643	1.017
رقم Cultivar	13	0.174 **	0.023 **	0.019 **	804.613 **	70.988 **	68.413**
سال × رقم Cultivar × Year	13	0.006 ns	0.0001 ns	0.00002 ns	87.442 ns	5.199 ns	3.694 **
خشکی × رقم Drought × Cultivar	39	0.105 *	0.002 **	0.001 **	320.140 **	14.038 **	14.201 **
سال × خشکی × رقم Drought × Year × Cultivar	39	0.001 ns	0.00007 ns	0.00001 ns	93.894 ns	4.558*	1.693 *
خطای فرعی Minor Error	208	0.009	0.0002	0.00008	89.944	3.100	1.112

ns غیر معنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

ns Non-significant, ** and *: Significant at 1% and 5% of probability levels



شکل ٤- غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در برگ ارقام مختلف بادام تحت سطوح مختلف تنش خشکی

(A: نیتروژن؛ B: پتاسیم؛ C: فسفر؛ D: آهن)

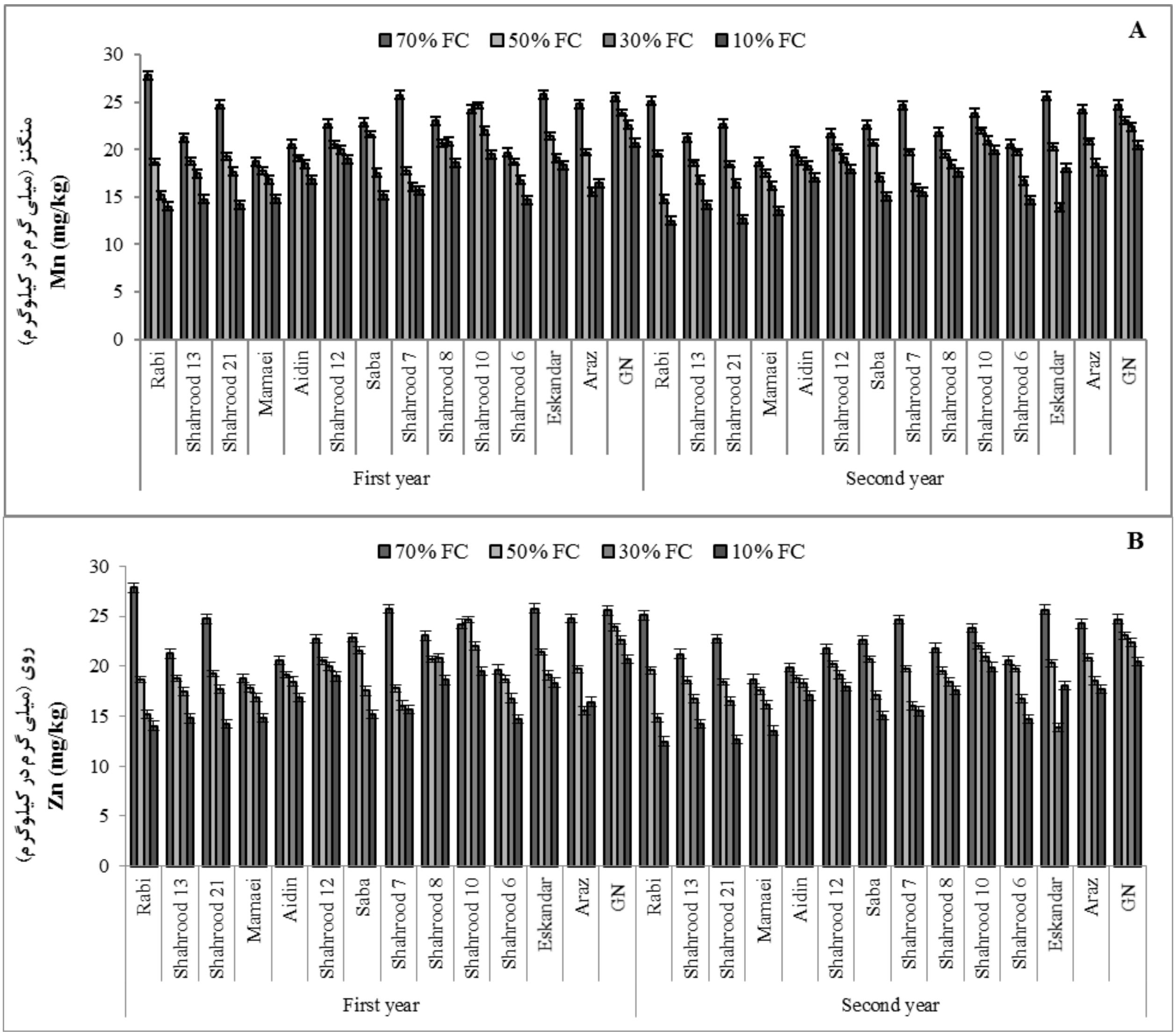
Figure 4- The content of leaf macro and micro elements of different almond cultivars under drought stress

(A: Nitrogen; B: Potassium; C: Phosphorus; D: Iron)

در بالاترین سطح خشکی بیشترین مقدار منگنز (۲۷/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) در رقم 'GN' و سال اول آزمایش بود و کمترین مقدار این عنصر (۱۹/۷۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) در رقم 'صبا' و سال دوم ثبت گردید. در تنش شدید خشکی مقدار کاهش منگنز در ارقام

’ربیع‘،’شاهرود۲۱‘ و ’مامایی‘ نزدیک به ۳۵ درصد بوده است که بیشتر از سایر ارقام بود. کمترین کاهش در مقدار این عنصر در واکنش به تنش خشکی در ارقام ’شاهرود ۱۰‘ و ’اسکندر‘ بود که مقدار منگنز تحت شدید خشکی در این ارقام به ترتیب ۱۳/۶۳ و ۱۵/۸۷ درصد کمتر از شرایط فاقد تنش بود (شکل ۵-A).

بر اساس نتایج به‌دست آمده در شرایط بدون تنش، بیشترین و کمترین مقدار عنصر روی به‌ترتیب در ارقام ’ربیع‘ (۲۷/۸۳میلی‌گرم در کیلوگرم) در سال اول آزمایش و ’مامایی‘ (۱۸/۶۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) در سال دوم آزمایش مشاهده گردید. اندازه‌گیری مقدار روی در برگ نهال‌های بادام نشان دهنده کاهش مقدار این عنصر با افزایش شدت کم‌آبی است. رقم ’ربیع‘ با بیشترین مقدار عنصر روی در واکنش به تنش شدید خشکی کاهش بیشتری در مقایسه با سایر ارقام داشت و مقدار روی در برگ‌های این رقم با کاهش ۴۹/۹۷ درصدی به ۱۲/۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم در شرایط تنش شدید خشکی (۱۰ درصد FC) رسید. رقم ’GN‘ بیشترین مقدار عنصر روی را در شرایط تنش شدید خشکی در هر دو سال مورد مطالعه داشت. کمترین تغییر در مقدار عنصر روی در واکنش به تنش خشکی در ارقام ’آیدین‘ و ’شاهرود۱۲‘ ثبت گردید (شکل ۵-B).



شکل ۵- اثر تنش خشکی بر غلظت عناصر منگنز (A) و روی (B) در برگ ارقام مختلف بادام در دو سال مورد مطالعه

Figure 5- The effect of drought stress on leaf manganese (A) and zinc (B) content of different almond cultivars in two studying years

بررسی نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان داده است که افزایش شدت تنش کم‌آبی موجب کاهش قابل توجه مقدار نیتروژن (شکل ۴-A)، فسفر (شکل ۴-C)، منگنز (شکل ۵-A) و روی (شکل ۵-B) در برگ‌های ارقام مورد مطالعه بادام شد و از طرف دیگر مقدار پتاسیم (شکل ۴-B) و آهن (شکل ۴-D) در گیاهان رشد یافته تحت تنش خشکی بیشتر از شرایط نرمال آبیاری بود. تغییر مقدار عناصر غذایی تحت تنش خشکی در نهال‌های بادام پیشتر توسط فتحی و همکاران (Fathi *et al*., 2019)؛ موسوی و همکاران (Mousavi *et al*., 2009) گزارش شده است اگرچه روند تغییر مقدار هر یک از عناصر مورد مطالعه در ارقام مختلف متفاوت بوده است. در شرایط تنش خشکی، کاهش دسترسی گیاه به آب منجر به کاهش رشد ریشه‌ها شده و افزایش تجمع نمک یون سدیم منجر به اختلالات تغذیه‌ای در گیاه می‌گردد (Martínez-García *et al*., 2020). بر هم خوردن تعادل یونی سبب ایجاد اختلال در جذب عناصر مهم و ضروری برای عملکرد سیستم‌های فتوسنتزی و تنفس گیاه می‌گردد و از فعالیت برخی از آنزیم‌ها ممانعت می‌کند، که در نهایت اثراتی مخربی را در متابولیسم سلولی به جا می‌گذارد (Jiménez *et al*., 2013).

کاهش نیتروژن و فسفر در سطوح بالای تنش کم‌آبی می‌تواند به علت کاهش تراوایی ریشه گیاه، کاهش فعالیت میکروبی خاک و کاهش جذب این عناصر به دلیل رشد کم ریشه‌ها به دلیل دسترسی اندک به آب باشد (Bogati and Walczak, 2022). از طرف دیگر کمبود آب موجب تغییرات ساختمانی در ساقه، ریشه و برگ گیاهان شده به نحوی که با کاهش دسترسی گیاه به آب، دستجات آوندی کمتر و با قطر کوچکتری تولید می‌شوند که این شرایط میزان جذب و تجمع عناصر غذایی را در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهد (Marschner, 2011). پتاسیم نقش مهمی در حفظ آماس سلولی، تنظیم حرکت روزنه‌ها و فعال کردن آنزیم‌ها دارد (Marschner, 2011). تولید زیاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایجاد شده بر اثر تنش به آسیب غشاء منجر می‌شود و به‌دنبال آن نشت پتاسیم از سلول‌ها به دلیل فعال کردن کانال‌های تراوش پتاسیم به خارج از سلول رخ می‌دهد. با این وجود افزایش مقدار پتاسیم در شرایط نامساعد محیطی ممکن است واکنش دفاعی گیاه جهت حفظ آماس سلولی و ادامه حیات گیاه باشد (Isaakidis *et al*., 2004) که در پژوهش حاضر افزایش پتاسیم (شکل ۴-B) در تنش شدید خشکی ممکن است در این راستا باشد.

تحت شرایط کم‌آبی علی‌رغم وجود مواد معدنی در خاک، گیاه ممکن است دچار کمبود برخی مواد ضروری شود. قابلیت استفاده اغلب عناصر کم مصرف به pH و هدایت الکتریکی محلول خاک و ماهیت محل‌های پیوند روی سطوح ذرات آلی و معدنی خاک بستگی دارد. به همین دلیل رابطه بین خشکی خاک و عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌مصرف پیچیده است (Marschner, 2011). بسته به نوع رقم، بافت خاک، شدت تنش و شرایط محیطی ممکن است غلظت عناصر کم مصرف در اندام‌های هوایی گیاه افزایش، کاهش و یا بدون تغییر بماند (Fathi *et al*., 2019; Mousavi *et al*., 2009). آهن، منگنز و روی از عناصر مهم درگیر در واکنش‌های اکسایش-احیا می‌باشند. در پژوهش حاضر علی‌رغم کاهش مقدار روی و منگنز، مقدار آهن تحت تنش خشکی در برگ‌های ارقام مختلف بادام افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد افزایش مقدار آهن در رابطه با افزایش فعالیت سیستم دفاعی گیاه جهت مقابله با تنش اکسیداتیو و حفظ رشد و عملکرد گیاه در این شرایط باشد (Bogati and Walczak, 2022). افزایش غلظت آهن تحت تنش خشکی می‌تواند ناشی از دو عامل باشد: یکی، افزایش غلظت یون‌های محلول در آب خاک این عنصر بر اثر فرآیند تبادل سدیم با Fe^{2+} و Fe^{3+} که باعث آزادسازی این عناصر به محلول خاک می‌شود. دیگری، کاهش ماده خشک بخش هوایی پس از اعمال تنش خشکی است که بر اثر وقوع پدیده تغلیظ، غلظت آهن در بخش‌های هوایی گیاه افزایش می‌یابد (Marschner, 2011).

پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاهان به رطوبت پایین خاک به ژنوتیپ گیاه بستگی دارد و به نظر می‌رسد برخی ژنوتیپ‌ها و ارقام بادام می‌توانند رشد خود را در طول دوره تنش حفظ نمایند. با این وجود در تنش‌های شدید، هدایت انرژی گیاه جهت تکمیل چرخه زندگی، منجر به کاهش رشد گیاه می‌گردد (Bodner *et al*., 2015). براساس نتایج حاصل از این پژوهش، تغییر صفات مورفولوژیکی و عناصر مورد ارزیابی در واکنش به سطوح مختلف تنش خشکی متفاوت بود. این تفاوت‌ها بیانگر تأثیر ویژگی‌های ژنتیکی بر رشد گیاهان تحت تنش می‌باشد که منجر به تفاوت در میزان تحمل شرایط نامساعد محیطی می‌گردد (Bhusal *et al*., 2019). بندر و همکاران (Bodner *et al*., 2015) گزارش کرده‌اند که ارقام مختلف بادام با مکانیزم‌های مختلف ساختاری و تغییرات فیزیولوژیکی اثرات تنش را تنظیم و جبران می‌نمایند.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشد و غلظت عناصر غذایی گردید، اگرچه عکس‌العمل ارقام مورد مطالعه بادام نسبت به سطوح مختلف تنش خشکی متفاوت بود. در این پژوهش ارقام 'GN'، 'شاهرود۸' و 'شاهرود۱۲' از نظر شاخص‌های رشدی شامل ارتفاع نهال، قطر ساقه، رشد تاج، رشد شاخه‌های فرعی و غلظت عناصر پرمصرف و کم

مصرف در مقایسه با سایر ارقام در شرایط تنش خشکی مقاومت بیشتری داشتند و کم‌تر تحت تأثیر شدت‌های بالای کم‌آبی قرار گرفتند. بنابراین می‌توان از ارقام مزبور در مطالعات آینده به‌منظور ارزیابی امکان کشت این ارقام در مناطق با مشکل کم‌آبی استفاده کرد.

منابع

1. Ahanger, M.A., Akram, N.A., Ashraf, M., Alyemeni, M.N., Wijaya, L., & Ahmad, P. (2017). Signal transduction and biotechnology in response to environmental stresses. *Biologia Plantarum*, *61*(3), 401-416. https://doi.org/10.1007/s10535-016-0683-6
2. Arzani, K., & Arji, I. (2000). Response of young olive plants cv Local Roghani Roodbar to water stress and deficit irrigation. *Seed and Plant*, *16*(1), 99-109. (In Persian)
3. Barzegar, K., Yadollahi, A., Imani, A., & Ahmadi, N. (2012). Responses to drought stress of almond cultivars and genotypes grown under field conditions. *International Journal of Agriculture: Research and Review*, *2*(3), 205-210.
4. Bhusal, N., Han, S.G., & Yoon, T.M. (2019). Impact of drought stress on photosynthetic response, leaf water potential, and stem sap flow in two cultivars of bi-leader apple trees (*Malus× domestica* Borkh.). *Scientia Horticulturae*, *246*, 535-543. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.021
5. Bodner, G., Nakhforoosh, A., & Kaul, H.P. (2015). Management of crop water under drought: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*(2), 401-442. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0283-4
6. Bogati, K., & Walczak, M. (2022). The Impact of drought stress on soil microbial community, enzyme activities and plants. *Agronomy*, *12*, 189. https://doi.org/10.3390/agronomy12010189
7. Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H.L., Waskom, R.M., Niu, Y., & Siddique, K.H. (2016). Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *36*, 3. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0338-6
8. Condon, A.G. (2020). Drying times: plant traits to improve crop water use efficiency and yield. *Journal of Experimental Botany*, *71*(7), 2239-2252. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa002
9. De Herralde, F. (2000). Integral study of the eco-physiological response to water stress: characterization of the almond varieties. *Nucis–Newsletter*, *9*, 20-21.
10. De Herralde, F., Savé, R., Biel, C., Batlle, I., & Vargas, F.J. (2001). Differences in drought tolerance in two almond cultivars:'Lauranne'and'Masbovera'. *Cahiers Options Méditerranéennes*, *56*, 149-154.
11. Emami, A. (1996). *Plant decomposition methods*. Vol. 1. Technical leaflet No. 982. Soil and Water. Research Institute, Tehran, Iran (In Persian)
12. Fathi, H., Amiri, M., Imani, A., Nikbakht, J., & Hajilou, J. (2019). Investigation on the changes of some biochemical traits of almond genotypes leaves under drought stress on the GN15 rootstock. *Journal of Plant Process and Function*, *8*(29), 15-30. (In Persian)
13. Fulton, A., Grant, J., Buchner, R., & Connell, J. (2014). Using the pressure chamber for irrigation management in walnut, almond and prune. http://dx.doi.org/10.3733/ucanr.8503
14. Gradzıel, T.M., Martınez-Gomez, P., Dıcenta, F., & Kester, D.E. (2001). The utilization of related *Prunus* species for almond variety improvement. *Journal-American Pomological Society*, *55*(2), 100-108.
15. Haas, J.C., Vergara, A., Serrano, A.R., Mishra, S., Hurry, V., & Street, N.R. (2021). Candidate regulators and target genes of drought stress in needles and roots of Norway spruce. *Tree Physiology*, *41*(7), 1230-1246. https://doi.org/10.1093/treephys/tpaa178
16. Isaakidis, A., Sotiropoulos, T., Almaliotis, D., Therios, I., & Stylianidis, D. (2004). Response to severe water stress of the almond (*Prunus amygdalus*)'Ferragnès' grafted on eight rootstocks. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *32*(4), 355-362.
17. Jiménez, S., Dridi, J., Gutiérrez, D., Moret, D., Irigoyen, J.J., Moreno, M.A., & Gogorcena, Y. (2013). Physiological, biochemical and molecular responses in four *Prunus* rootstocks submitted to drought stress. *Tree Physiology*, *33*, 1061-1075. https://doi.org/10.1093/treephys/tpt074
18. Karimi, S., Yadollahi, A., Arzani, K., Imani, A., & Aghaalikhani, M. (2015). Gas-exchange response of almond genotypes to water stress. *Photosynthetica*, *53*(1), 29-34. https://doi.org/10.1007/s11099-015-0070-0
19. Khoyerdi, F.F., Shamshiri, M.H., & Estaji, A. (2016). Changes in some physiological and osmotic parameters of several pistachio genotypes under drought stress. *Scientia Horticulturae*, *198*, 44-51. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.028
20. Kim, J., Kim, K.S., Kim, Y., & Chung, Y.S. (2020). A short review: Comparisons of high-throughput phenotyping methods for detecting drought tolerance. *Scientia Agricola*, 78. https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0300
21. Lindsay, W.L, & Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, *42*, 421-428.

22. Marschner, H. (2011). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. San Diego ,CA, Academic Press.
23. Martínez-García, P.J., Hartung, J., Pérez de los Cobos, F., Martínez-García, P., Jalili, S., Sánchez-Roldán, J.M., Rubio, M., Dicenta, F., & Martínez-Gómez, P. (2020). Temporal response to drought stress in several *Prunus* rootstocks and wild species. *Agronomy*, *10*, 1383. https://doi.org/10.3390/agronomy10091383
24. Méndez-Toribio, M., Ibarra-Manríquez, G., Paz, H., & Lebrija-Trejos, E. (2020). Atmospheric and soil drought risks combined shape community assembly of trees in a tropical dry forest. *Journal of Ecology*, *108*(4), 1347-1357. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13355
25. Mousavi, S.A., Tatari, M., Mehnatkesh, A., & Haghighati, B. (2009). Vegetative growth response of young seedlings of five almond cultivars to water deficit. *Seed and Plant Improvement Journal*, *25-1*, 551-567. (In Persian)
26. Palasciano, M., Logoluso, V., & Lipari, E. (2013). *Differences in drought tolerance in almond cultivars grown in Apulia region (Southeast Italy).* In: VI International Symposium on Almonds and Pistachios 1028: 319-324.
27. Parvaneh, T., & Afshari, H. (2013). Comparative study of the response of different almond rootstocks to water stress. *International Journal of Plant Production*, *4*, 2244-2250.
28. Sorkheh, K., Shiran, B., Khodambshi, M., Rouhi, V., & Ercisli, S. (2011). In vitro assay of native Iranian almond species (*Prunus* L. spp.) for drought tolerance. *Plant Cell*, *Tissue and Organ Culture*, *105*(3), 395-404.
29. Tankari, M., Wang, C., Ma, H., Li, X., Li, L., Soothar, R.K., Cui, N., Zaman-Allah, M., Hao, W., Liu, F., & Wang, Y. (2021). Drought priming improved water status, photosynthesis and water productivity of cowpea during post-anthesis drought stress. *Agricultural Water Management, 245,* 106565. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106565
30. Toscano, S., Ferrante, A., & Romano, D. (2019). Response of Mediterranean ornamental plants to drought stress. *Horticulturae*, *5*(1), 6. https://doi.org/10.3390/horticulturae5010006
31. Treder, W., Konopacki, P., & Mika, A. (1996). *Duration of water stress and its influence on the growth of nursery apple trees planted in containers under plastic tunnel conditions*. In: II International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops 449: 541-544.
32. Yadollahi, A., Arzani, K., Ebadi, A., Wirthensohn, M., & Karimi, S. (2011). The response of different almond genotypes to moderate and severe water stress in order to screen for drought tolerance. *Scientia Horticulturae, 129,* 403-413. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.007
33. Zokaee Khosroshahi, K. (2013). *Investigation of drought tolerance in five Iranian almond species based on the important morphological and physiological markers* (Doctoral dissertation, Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy in Horticulture Faculty of Agriculture Department of Horticultural Sciences of Bu-Ali Sina University).